

Thunderstorm effects on the F region of the ionosphere

by Volker Grassmann, DF5AI

1 Introduction

In [13] we have discussed the possibility of 144 MHz sporadic E propagation triggered by dynamical processes in the lower atmosphere which are associated with thunderstorms. We have in particular discussed the model of atmospheric convection breaking the tropopause which causes the generation of atmospheric gravity waves which finally propagate from the lower atmosphere into the upper atmosphere. Arriving at E region heights, the gravity waves may stimulate or support the generation of wind shears which are accepted one cause of sporadic E. That model appears plausible to many scientists but, as far as we can see, it isn't yet verified in all aspects.

This paper may be considered a supplement to [13] extending our view from the E region to the F region of the ionosphere. Contrary to the E region, thunderstorm effects on the F region of the ionosphere are generally accepted by ionospheric scientists since the 1970s. In fact, theoretical and experimental investigations provide clear evidence of F region phenomena associated with gravity waves originating from the lower atmosphere. However, the amount of scientific resources is enormous, i.e. this paper can only provide a brief and imperfect review of only some details.

2 A short look at travelling ionospheric disturbances and spread-F irregularities

By analysing the so-called *travelling ionospheric disturbances* (TID) in the equatorial F region, RÖTTGER found an evident correlation between the TID occurrence and the tropical rainfall activity which he interprets by convective thunderstorms which cause heavy rainfall and, on the other hand, also cause gravity waves propagating from the lower into the upper atmosphere [4], [7] – those gravity waves finally manifest the TIDs' signature in the ionograms. WHITEHEAD (1971) has even proposed a spatial resonance mechanism (see [5] and the references cited therein) between the plasma drift velocity in the ionosphere and the phase velocity of atmospheric gravity waves resulting in a quasi-periodic modulation of the equatorial spread-F structures associated with a considerable amplification of the TID amplitude.

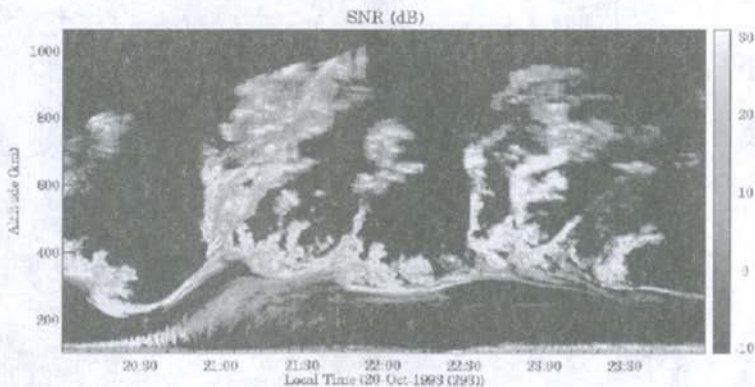


Fig. 1. Radar map showing echo traces due to backscatter from equatorial spread-F irregularities at altitudes higher than 200 kilometers, from [12].

The evidence that gravity waves initiate equatorial spread-F irregularities comes in particular from observations carried out with the Jicamarca radar located close to the magnetic equator near Lima, Peru (see, e.g. [11]). The radar transmits at 50 MHz with 1 megawatts pulse power from a 300m x 300m phased-array pointing nearly vertically. Fig. 1 shows one of the spectacular events recorded by KELLEY et al. (1981), see, e.g., [8] and [12] and the references cited therein.

Penetrative cumulus convection caused by thunderstorms is however only one source of gravity waves observed in the F region of the ionosphere, i.e. other sources need to be considered as well. In the equatorial zone, the dawn/dusk terminator moves with

supersonic speed through the ozone layer and it is believed that this feature may excite gravity waves propagating in a shock-front through the atmosphere. It is also believed that the electrical currents forming the equatorial electrojet (EEJ) may also generate gravity waves due to Joule heating and Lorentz forces. The non-linear breaking of atmospheric tides is also considered a possible source of gravity waves and other sources have been discussed as well. In [4], all these possible sources are analysed in order to explain the above mentioned correlation between the TID occurrence and the tropical rainfall activity together with the fact that the majority of TIDs appear to originate from the tropical rain forest located north of the HF radar system which was used in the TID measurements (all these measurements were carried out in Huancayo, Peru). RÖTTGER finally considers penetrative cumulus convection as the most probable source of the medium-scale TIDs observed in the equatorial regions [4].

3 Implications to VHF dxing: Es and TEP propagation

Thus, the model of thunderstorm effects on sporadic E in [13] is very similar to the findings which appear accepted in F region dynamics. Compared to F region studies, the amount of scientific resources dealing with thunderstorm effects on the E region is however much smaller but, nevertheless, some scientific resources are indeed available, see, e.g., [4] and the references cited therein. RÖTTGER in particular cites studies from DATTA but, unfortunately, we couldn't access this document (Ind. J. Pure Appl. Phys., 9, 394, 1971) which apparently provides some indication of thunderstorm-triggered sporadic E events in the tropical atmosphere. From this perspective, the model in [13] does not appear revolutionary at all – with one exception though: all these scenarios are discussed in the tropical atmosphere because severe thunderstorms are best observed in this part of the world. The model in [13] however adopts the results in order to explain sporadic E events in mid-latitudes. Thus, if radio amateurs can document thunderstorm effects on mid-latitude sporadic E (the June 27, 2004 event may lead in this direction, see [13]), ham radio may indeed contribute to ionospheric research.

A final word is given with respect to transequatorial radio propagation (TEP) on very high frequencies: As a consequence of the above mentioned spatial resonance mechanism between the ionospheric plasma and gravity waves travelling through it, electron density gradients are produced which may trigger or modulate the generation of smaller-scale spread-F irregularities moving upward in bubbles [5]. Note that plasma bubbles are also considered a possible explanation of transequatorial radiowave propagation on HF and VHF, see, e.g., [1], [9], [10] (RÖTTGER's investigations on TIDs indeed result from his TEP experiments in the 1970s, see, e.g., [2], [3], [6]). Thus, meteorological effects, thunderstorms and gravity waves in the tropical atmosphere will very likely play a role also in ham radio studies dealing with TEP in 144 MHz and above.

4 References

- [1] Transäquatoriale UKW-Ausbreitung
Harrison R. L., VK2ZTB
UKW-Berichte, 90-108, 1972
- [2] Die Untersuchung von Irregularitäten in der F-Schicht der äquatorialen Ionosphäre mit Hilfe der transäquatorialen Kurzwellenausbreitung
Röttger J.
Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen, 1974
- [3] Transäquatoriale Kurzwellenfunkverbindungen
Röttger J.
cq-DL 2, 84-88, 1975
- [4] Travelling disturbances in the equatorial ionosphere and their association with penetrative cumulus convection
Röttger J.
J. Atmos. Terr. Phys., 39, 987-998, 1977
- [5] Drifting patches of equatorial spread-F irregularities – experimental support for the spatial resonance mechanism in the ionosphere
Röttger J.
J. Atmos. Terr. Phys., 40, 1103-1112, 1978
- [6] Transäquatoriale DX-Verbindungen auf 144 MHz
Röttger J., DJ3KR
cq-DL, 5, 198-200, 1979
- [7] Equatorial spread-F by electric fields and atmospheric gravity waves generated by thunderstorms
Röttger J.
J. Atmos. Terr. Phys., 43, 453-462, 1981
- [8] Gravity waves seeding ionospheric irregularities
Röttger J.
Nature, 296, 111-112, 1982
- [9] VHF and UHF propagation modes
Grayer G., G3NAQ
The VHF/UHF DX Book, White I., G3SEK (editor), RSGB, 1995
- [10] Equatorial propagation
Cracknell R, G2AHU
<http://www.uksmg.org/equatorialpropagation.htm>
- [11] The Jicamarca Radio Observatory
<http://jicamarca.ece.cornell.edu/>
- [12] Incoherent and coherent scatter radars: Jicamarca examples
Woodman R.F.
<http://cedarweb.hao.ucar.edu/workshop/tutorials/2004/woodman04.pdf>
- [13] Thunderstorm effects on sporadic E propagation in 144 MHz
Grassmann V. (DF5AI), Cremer S. (DL1DBC), Langenohl U. (DK5YA), Munters A. (PE1NWL), Sampol (EA6VQ), Kraft (DL8HCZ)
Dubus 1, 9-44, 2005

Gewittereinflüsse auf die ionosphärische F-Region

von Volker Grassmann, DF5AI

Hinweis: Die angegebenen Abbildungs- und Literaturverweise beziehen sich auf die englischsprachige Version dieses Aufsatzes.

1 Einleitung

In [13] wird die Entstehung von 144 MHz Sporadisch-E Fernverbindungen mit dynamischen Vorgängen in der unteren Atmosphäre in Verbindung gebracht, die ihrerseits auf Gewitter zurückgeführt werden können. Dabei wird angenommen, dass troposphärische Konvektionsprozesse beim Durchbrechen der Tropopause Schwerewellen auslösen können, die sich von der unteren bis schließlich in die obere Atmosphäre ausbreiten. Erreichen die Schwerewellen das Höhnenniveau der ionosphärischen E-Schicht, so können sie dort die Entstehung von Windscherungen begünstigen, welche als ein möglicher Mechanismus bei der Entstehung von Sporadisch-E Schichten gelten. Das Modell wird von Atmosphärenwissenschaftlern offenbar als plausibel angesehen, nach unserer Einschätzung kann es jedoch noch nicht in allen Einzelheiten als verifiziert gelten.

Dieser Aufsatz gilt als Ergänzung zu [13], wobei das Augenmerk von der E- nunmehr auf die F-Region in der Ionosphäre gelenkt wird. Im Gegensatz zur E-Schicht gelten Gewittereinflüsse auf die F-Schicht seit den siebziger Jahren als eine allgemein anerkannte Tatsache. Tatsächlich können theoretische und experimentelle Untersuchungen den Nachweis erbringen, dass zahlreiche Phänomene in der F-Region durch Schwerewellen hervorgerufen werden, die in der unteren Atmosphäre ihren Ursprung finden und dort in einem engen Zusammenhang mit Gewittern stehen. Der Umfang der wissenschaftlichen Quellen ist in der Tat außerordentlich umfangreich, weshalb dieser Aufsatz nur einen groben und unvollständigen Überblick über nur einige wenige Details vermitteln kann.

2 Ein kurzer Blick auf „travelling ionospheric disturbances“ und „Spread-F Irregularitäten“

RÖTTGER fand bei der Untersuchung der so genannten *travelling ionospheric disturbances* (TID) in der äquatorialen F-Schicht eine eindeutige Korrelation zwischen dem Auftreten von TIDs und der tropischen Niederschlagsintensität, welche er durch gewitterbedingte Konvektionsprozesse deutet, die einerseits heftigen Regenfall und andererseits Schwerewellen erzeugen, die sich von der unteren in die obere Atmosphäre ausbreiten [4], [7] – diese Schwerewellen bilden sich in den Ionogrammen schließlich als TIDs ab. WHITEHEAD (1971) hat ferner einen räumlichen Resonanzeffekt vorgeschlagen (siehe [5] und die dortigen Literaturangaben), bei welchem die Driftgeschwindigkeit des ionosphärischen Plasmas und die Phasengeschwindigkeit der Schwerewellen in eine resonante Wechselwirkung treten, so dass die sogenannten *Spread-F* Strukturen in den Ionogrammen eine quasiperiodische Modulation und die Amplitude der TIDs eine deutliche Verstärkung erfahren.

Bildunterschrift zu Abb. 1: Rückstreuerechos von Spread-F Irregularitäten in der äquatorialen F-Schicht oberhalb von 200 Kilometer Höhe, aus [12].

Der Beweis für die Erzeugung von Spread-F Irregularitäten durch atmosphärische Schwerewellen wurde insbesondere durch das Jicamarca Radar erbracht, welches am magnetischen Äquator in der Nähe von Lima, Peru, stationiert ist (siehe z.B. [11]). Das Radar sendet auf 50 MHz und strahlt 1 Megawatt Pulsleistung über eine 300m x 300m große Antennenfläche nahezu senkrecht in die Atmosphäre ein. Abb. 1 zeigte eine der von KELLEY et al. (1981) veröffentlichten spektakulären Messergebnisse, siehe [8] und [12] und die dort jeweils angegebenen Literaturangaben.

Die von Gewittern hervorgerufenen konvektiven Vorgänge gelten jedoch nur als eine mögliche Quelle von Schwerewellen in der F-Region. In der äquatorialen Atmosphäre durchheilt die Tageslichtgrenze das Höhnenniveau der Ozonschicht mit Überschallgeschwindigkeit, worin ebenfalls ein möglicher Auslöseprozess für Schwerewellen vermutet wird, welche sich sodann als Stoßwelle durch die Atmosphäre ausbreiten. Das Stromsystem des äquatorialen Elektrojets wird als eine weitere Quelle von Schwerewellen angesehen, hervorgerufen durch Lorentzkkräfte bzw. durch das Freisetzen Joule'scher Wärme. Ebenso vermutet man im nichtlinearen Zusammenbrechen von atmosphärischen Gezeitenbewegungen einen möglichen Auslösemechanismus für Schwe-

rewellen, neben weiteren hier nicht erwähnten Quellen. In [4] werden die erwähnten Auslösemechanismen diskutiert, um die erwähnte Korrelation zwischen dem Auftreten von TIDs und der tropischen Niederschlagsintensität deuten zu können. Weiterhin schien die Mehrzahl der TIDs ihren Ursprung in jenem Regenwaldgebiet zu finden, welches sich nördlich von der Radaranlage befand, mit welcher die TID-Messungen durchgeführt wurden (jene Messungen fanden in Huancayo, Peru, statt). RÖTTGER schließt aus den Befunden, dass konvektive (also mit Gewittern in Verbindung stehende) Prozesse die wahrscheinlichste Quelle für Schwerewellen in der äquatorialen F-Region darstellen [4].

3 Schlußfolgerungen für die Es und TEP Ausbreitung

Das in [13] diskutierte Modell von Gewittereinflüssen auf die Entstehung von sporadischen E-Schichten erscheint daher vergleichbar mit den Ergebnissen, die in der F-Schicht gefunden wurden und dort als gesichert anerkannt sind. Im Vergleich zu den umfangreichen Untersuchungen zur ionosphärischen F-Schicht ist der Umfang der wissenschaftlichen Quellen zu Gewittereinflüssen auf die E-Schicht jedoch deutlich geringer – einige wissenschaftliche Untersuchungen stehen dennoch zur Verfügung, siehe z.B. [4] und die dort angegebenen Quellen. RÖTTGER zitiert insbesondere eine Arbeit von DATTA, welche offenbar Hinweise auf von Gewittern ausgelöste Sporadisch-E Schichten vermittelt – leider war das Dokument (Ind. J. Pure Appl. Phys., 9, 394, 1971) bisher jedoch nicht erhältlich. In dieser Hinsicht erscheinen die Ausführungen in [13] keineswegs revolutionär – von einer Ausnahme abgesehen: Die bisher diskutierten Szenarien nehmen stets auf die äquatoriale Atmosphäre Bezug, denn heftige Gewitterstürme treten hier besonders häufig in Erscheinung. Das in [13] diskutierte Modell überträgt die Ergebnisse jedoch auf die E-Schicht in mittleren Breiten. Falls es Funkamateuren also tatsächlich gelingen sollte, von Gewittern hervorgerufene Sporadisch-E Ereignisse dokumentieren und nachweisen zu können (das Ereignis vom 27. Juni 2004 mag in diese Richtung weisen, siehe [13]), so würde der Amateurfunk auf diese Weise in der Tat einen Beitrag zur Atmosphärenforschung leisten können.

Abschließend sei ein Hinweis auf die Untersuchung von transäquatorialen Kurzwellen- und UKW-Funkverbindungen gegeben: In Folge des oben erwähnten Resonanzmechanismus zwischen dem ionosphärischen Plasma und den sich darin ausbreitenden Schwerewellen werden u.a. Gradienten in der Elektronendichteverteilung hervorgerufen, die kleinräumige Spread-F Irregularitäten auslösen oder modulieren können, welche sich schließlich in blasenförmigen Strukturen in senkrechter Richtung in die höhere Atmosphäre ausbreiten. Man beachte, dass jene Plasmablasen („plasma bubbles“) auch zur Deutung von transäquatorialen Fernverbindungen im Kurzwellen- und UKW-Bereich herangezogen werden, siehe z.B. [1], [9], [10] (tatsächlich wurden RÖTTGERs TID-Untersuchungen durch seine in den siebziger Jahren durchgeführten TEP-Experimente motiviert, siehe z.B. [2], [3], [6]). Meteorologische Einflüsse, Gewitter und Schwerewellen in der tropischen Atmosphäre werden daher mit einiger Wahrscheinlichkeit auch eine bedeutende Rolle bei Amateurfunkuntersuchungen zur transäquatorialen UKW-Ausbreitung spielen.

-Anzeige

FUNK-TELEGRAMM

Das Magazin für Amateurfunk bietet monatlich top-aktuell – seit 1989:

- Kurze Meldungen über Geschehnisse im Amateurfunk in DL und aller Welt
- QSL-Manager-Liste
- KW-DX-Meldungen
- UKW-DX-Meldungen: Expeditionen, Aktivitäten, Baken
- Satelliten-Infos
- Terminkalender für Amateurfunkveranstaltungen aller Art
- Contestkalender für KW
- Contestkalender für VHF/UHF/SHF
- Serie: Kleine deutsche Amateurfunkgeschichte
- Neue Produkte
- Neue Literatur
- QRG-Erweiterungen
- Einfache Schaltungen zum Nachbau
- Kostenlose Kleinanzeigen

Ein kostenloses (nur für DL gültig) Probeheft kann angefordert werden unter:

Funk-Telegramm@t-online.de oder

FT, Grützmlühlenweg 23, 22339 Hamburg, oder

Fax: 040/5383186

(Probeheft-Anforderungen von außerhalb DL gegen 2 Euro oder 3 USD in bar oder 3 x 55 Cent DL-Briefmarken)

Abo-Preis (nur für DL): 20,- € für 1 Jahr bzw. 38,- € für 2 Jahre (Ausland: 30,- bzw. 59,- €),

Bestellung durch Überweisung des Betrages an: Verlag Joachim Kraft,

Konto-Nr.: 207354201, BLZ 20010020, Postbank Hamburg